

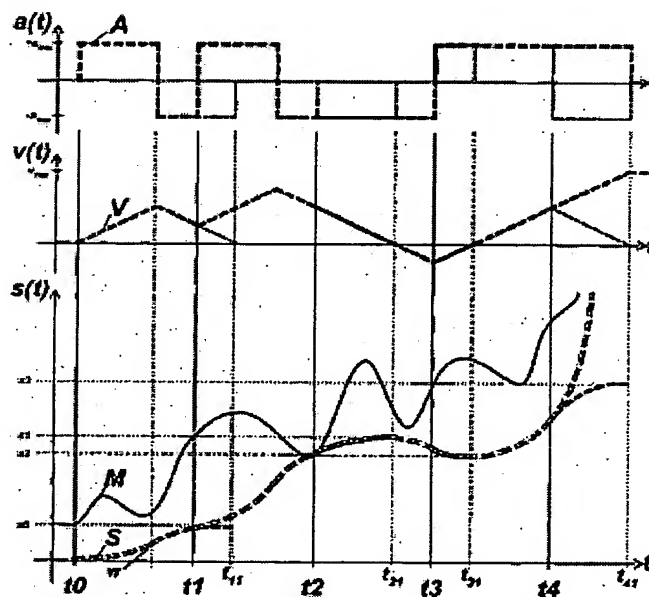
**Scanning method for coordinate measuring machine used for detecting unknown workpiece contour, involves limiting maximum acceleration and maximum speed of probe for guide axis and scan axis**

**Patent number:** DE10050795  
**Publication date:** 2001-07-05  
**Inventor:** LUEDENBACH JOHANNES (DE)  
**Applicant:** KLINGELNBERG SOEHNE GMBH (DE)  
**Classification:**  
- **International:** G01B21/04; G01B21/20; G05D5/00  
- **European:** G01B5/012  
**Application number:** DE20001050795 20001013  
**Priority number(s):** DE20001050795 20001013; DE19991062634 19991223

Report a data error here

**Abstract of DE10050795**

Measurement values of unknown workpiece contour are received in the coordinate system of a coordinate measuring machine. A scan cycle is used as a repeating time interval. The maximum acceleration of a probe for a guiding axis and a scan axis is limited. The maximum speed of the probe for the guide axis and scan axis is limited. An Independent claim is also included for a scanning device.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



K

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 50 795 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**G 01 B 21/04**  
G 01 B 21/20  
G 05 D 5/00

⑦1 Aktenzeichen: 100 50 795.6  
⑦2 Anmeldetag: 13. 10. 2000  
⑦3 Offenlegungstag: 5. 7. 2001

DE 100 50 795 A 1

⑥6 Innere Priorität:  
199 62 634. 0 23. 12. 1999

⑦1 Anmelder:  
Klingelberg Söhne GmbH, 42499 Hückeswagen,  
DE

⑦4 Vertreter:  
Ackmann, Menges & Demski Patentanwälte, 80469  
München

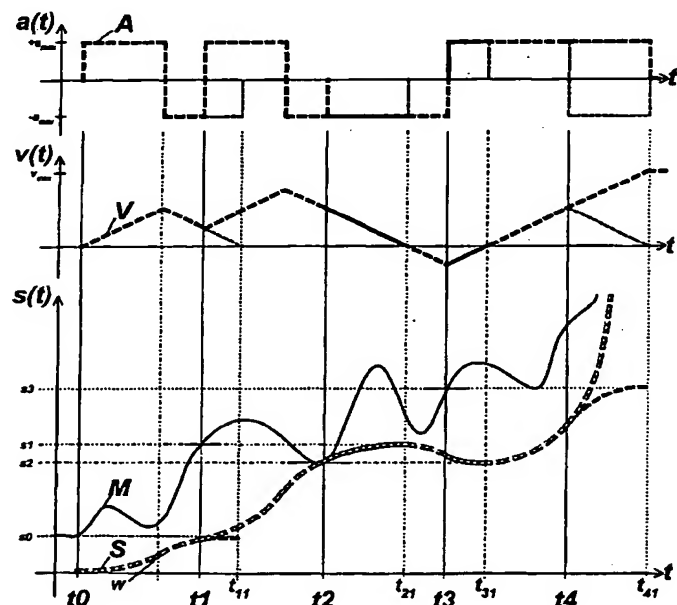
⑦2 Erfinder:  
Lüdenbach, Johannes, 51766 Engelskirchen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Scannen auf einem Meßgerät, insbesondere einem Koordinatenmeßgerät

⑤7 Beschrieben sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Scannen auf einem Meßgerät zur Erfassung einer unbekannten Werkstückkontur in einer vorgebbaren Scan-Ebene durch automatisches Führen eines am Tastkopf befindlichen auslenkbaren Tastelementes in der Scan-Ebene, so daß es mit der Werkstückkontur in Kontakt bleibt und Fahren des Tastkopfes mit einer Leitachse und einer Scan-Achse, die rechtwinkelig zueinander und in ihrer Funktion gegeneinander austauschbar sind und durch Aufnehmen von Meßwerten der unbekannten Werkstückkontur (M). Erfindungsgemäß wird jeweils vor dem Scan-Intervall ( $t_0$ - $t_1$ ,  $t_1$ - $t_2$ ,  $t_2$ - $t_3$ ,  $t_3$ - $t_4$ ) die absolute Ist-Position des Tastelementes im Koordinatensystem des Meßgerätes bestimmt und als Sollposition ( $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ ) für die Berechnung einer Weg-Zeit-Kurve ( $s(t)$ ) verwendet, wobei als weitere Parameter die maximale Beschleunigung ( $a_{\max}$ ) und die maximale Geschwindigkeit ( $v_{\max}$ ) des Tastkopfes sowie seine momentane Position und Geschwindigkeit auf der Weg-Zeit-Kurve des vorangegangenen Scan-Intervalls dienen. Innerhalb jedes Scan-Intervalls ( $t_0$ - $t_1$ ,  $t_1$ - $t_2$ ,  $t_2$ - $t_3$ ,  $t_3$ - $t_4$ ) wird mittels eines Lagereglers entlang der berechneten Weg-Zeit-Kurve die Lage des Tastkopfes in engen zeitlichen Abständen geregelt. Der Tastkopf wird so nach einer geglätteten Kurve ( $S = s(t)$ ) verfahren, die jede Schwingungsanfälligkeit vermeidet, die sich durch direktes Berücksichtigen der Tastelementauslenkung im geschlossenen Regelkreis ergeben würde.



DE 100 50 795 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 bzw. 10.

Anspruch 1 geht im Oberbegriff von dem Stand der Technik nach der DE 197 30 471 A1 aus, auf den weiter unten näher eingegangen wird.

Gemäß der EP 0 569 694 B1 versteht man unter Scannen ein Verfahren, bei dem der Taststift oder, allgemeiner, das Tastelement eines Tastkopfes im Zuge seiner Abtastbewegung in permanentem Kontakt mit einer Werkstückoberfläche bleibt. Solche Scan-Verfahren erlauben es, schnell eine Vielzahl von Meßpunkten aufzunehmen, die die Form des Werkstücks beschreiben. Hierfür wird ein sogenannter messender Tastkopf benötigt, d. h. ein Tastkopf, der Meßwertgeber besitzt, die ein dem Betrag der Tastelementauslenkung in den Koordinatenrichtungen proportionales Signal abgeben. Scan-Verfahren unter Verwendung von messenden Tastköpfen sind auch aus der DE 29 21 166 C2 sowie aus der oben bereits erwähnten DE 197 30 471 A1 bekannt. Im Unterschied dazu gibt es die Einzelpunktantastung, bei der das Tastelement von Punkt zu Punkt mit einer Werkstückoberfläche in Kontakt gebracht und jeweils die Abweichung gegenüber einem Sollwert bestimmt wird.

Weiter unterscheidet man das "geregelte Scannen" und das "gesteuerte Scannen". Gemäß der o. g. DE 197 30 471 A1 wird bei ersterem die Auslenkung des messenden Tastkopfes in einem Regelkreis auf einen Sollwert geregelt. Dazu wird lediglich eine Fläche vorgegeben, die die Werkstückoberfläche schneidet und in der die Kugel eines Tastelementes geführt wird. Bei dem gesteuerten Scannen wird der Tastkopf entlang einer durch Soll-daten vorgegebenen Bahn geführt, und es wird ständig die Abweichung zwischen Ist- und Sollkontur gemessen. Das geregelte Scannen für unbekannte Konturen und das gesteuerte Scannen für bekannte Konturen sowie die Vor- und Nachteile dieser beiden Scan-Verfahren sind in der o. g. DE 197 30 471 A1 erläutert. Bei diesem Stand der Technik werden die Vorteile der beiden Scan-Verfahren miteinander verbunden, indem beginnend mit dem geregelten Scannen nach einer gewissen Zeit, wenn Soll-daten extrapoliert werden können, die Abtastung mit gesteuertem Scannen fortgesetzt wird. Richtigerweise wird das geregelte Scannen zwar als universell einsetzbar, aber als langsam und schwingungsanfällig beschrieben, weil der Tastkopf und das Koordinatenmeßgerät einen geschlossenen Regelkreis bilden.

Bei dem in der o. g. DE 29 21 166 C2 beschriebenen bekannten Verfahren wird der Tastkopf eines Koordinatenmeßgerätes nach dem Antasten des Werkstückes mit konstanter Geschwindigkeit entlang einer ersten, der sogenannten Primärkoordinate verfahren bzw. gesteuert. Gleichzeitig wird durch ein Signal der Meßwertgeber im Tastkopf entsprechend der Tasterauslenkung in einer zur Primärachse senkrechten, zweiten Richtung auf konstante Anlage mit dem Werkstück geregelt. Sobald die Geschwindigkeit der Nachregelbewegung größer wird als der gesteuerte Vorschub in der Primärkoordinate, werden die beiden Achsen miteinander vertauscht. Auf diese Weise folgt der Tastkopf selbsttätig Konturen am Werkstück, die nicht vorbekannt sein müssen. Bei dem bekannten Verfahren wird der Taster aus einer Grundstellung ausgelenkt, und der Auslenkung entsprechende, auf die Grundstellung des Tasters bezogene proportionale elektrische Signale werden erzeugt, und es wird mit der Auslenkung des Tasters ein Regelkreis geschlossen, der eine vorgegebene Antastkraft des Tasters aufrecht erhält. Es hat sich als nachteilig herausgestellt, daß in der Nähe der Umschaltstelle von einer Meßkoordinatenrichtung in die andere Meßgenauigkeiten auftreten, die durch

den aus der Reibung zwischen Werkstück und Taster resultierenden Schleppfehler entstehen. Die DE 29 21 166 C2 befaßt sich deshalb damit, die bei der Profilabtastung mit den bekannten Meßmaschinen auftretenden Nachteile abzustellen und einen Umschaltvorgang von der einen Meßkoordinate in die andere ohne Stillstand der Relativbewegung zwischen Werkstück und Tastkopf und ohne Unterbrechung der Datenermittlung zu realisieren. Dieses geregelte Scannen hat den in der DE 197 30 471 A1 beschriebenen Nachteil, daß es schwingungsanfällig ist, da hierbei über das gesamte Koordinatenmeßgerät ein Regelkreis geschlossen werden muß, in den aus der gescannten Kontur beliebige Frequenzen eingekoppelt werden. Die erreichbare Geschwindigkeit ist bei gegebener Genauigkeit daher durch die Dynamik des Gesamtsystems begrenzt. Das gesteuerte Scannen ist regelungstechnisch zwar einfacher zu beherrschen und erlaubt in der Regel größere Geschwindigkeiten als das geregelte Scannen, jedoch müssen vorher die Sollkontur und die Lage des Werkstückes bekannt sein.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung der im Oberbegriff der Patentansprüche 1 bzw. 10 angegebenen Art so zu gestalten, daß eine hohe Verfahrensgeschwindigkeit des Tastkopfes erreicht wird, wobei die Schwingungsanfälligkeit vermieden wird und ein Austauschen von Leit- und Scanachse ruckfrei und ohne nennenswerte Geschwindigkeitseinbußen erfolgt.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die in den Patentansprüchen 1 und 10 angegebenen Schritte bzw. Merkmale gelöst.

Die Erfindung arbeitet nach einem Scan-Verfahren, das zwischen gesteuertem und geregeltem Scannen angesiedelt ist. Denn einerseits wird mit der Auslenkung des Tastelementes nicht unmittelbar ein Regelkreis geschlossen, andererseits ist auch keine Sollkontur des Werkstückes bekannt, die sich gesteuert abfahren ließe. Vielmehr werden – vereinfacht gesagt – in regelmäßigen kurzen Zeitabständen aus der Tastelementposition und anderen Anfangsparametern Weg-Zeit-Kurven für Leit- und Scan-Achse berechnet, nach denen der Tastkopf wie auf einer Sollkontur verfährt, bis das nächste Paar Weg-Zeit-Kurven aus veränderten Anfangsparametern vorliegt.

Wie im Stand der Technik verfährt dabei diejenige Achse des Meßgerätes, welche bedingt durch die Werkstückkontur in der vorgegebenen Scan-Ebene den größeren Weg zurücklegen muß, die Leitachse, mit konstanter Geschwindigkeit, und die dazu vorzugsweise rechtwinkelige Achse, die Scan-Achse, verfährt so, daß die Auslenkung des Tastelementes möglichst wenig von einem Vorgabewert abweicht. Wenn sich das Verhältnis in den zurückgelegten Wegen der beiden Achsen umkehrt, wird die Scan-Achse zur Leitachse und die Leitachse zur Scan-Achse gemacht, deren Funktionen also vertauscht.

Erfindungsgemäß wird jede Weg-Zeit-Kurve nicht unmittelbar aus der Ist-Auslenkung des Tastelementes gegenüber seiner Sollauslenkung berechnet, sondern aus der momentanen absoluten Ist-Position des Tastelementes im Koordinatensystem des Meßgerätes, die sich aus der momentanen Ist-Position des Tastkopfes und der im selben Moment vorliegenden Tastelementauslenkung zusammensetzt. Außerdem werden die auf der Weg-Zeit-Kurve am Ende des vorangegangenen Scan-Taktes festgestellte Position des Tastkopfes und seine zugehörige Geschwindigkeit berücksichtigt. Die Einhaltung einer vorgebbaren Maximalbeschleunigung bei der Berechnung der Weg-Zeit-Kurven dämpft die Neigung zum Schwingen, und das Vertauschen von Scan-Achse und Leitachse erfolgt bei voller Verfahrensgeschwindigkeit. Dabei werden die zuletzt zurückgelegten Weganteile des Tastelementes im Koordinatensystem des Meßgerätes als Kriterium

für die Umschaltung zwischen Scan-Achse und Leitachse herangezogen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

Wenn in einer Ausgestaltung der Erfindung, bei der die vorgegebene Scan-Ebene nicht mit zwei der motorischen Koordinatenachsen des Meßgerätes zusammenfällt, als Leitachse und als Scan-Achse virtuelle Achsen in der Scan-Ebene eingesetzt werden, die sich durch vektorielle Addition der Bewegungen der vorhandenen motorischen Koordinatenachsen verwirklichen lassen, kann das erfindungsgemäße Verfahren ohne Einschränkungen angewendet werden.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die motorischen Koordinatenachsen des Meßgerätes jeweils mit einem digitalen Lageregler, der in einem festgelegten Reglertakt arbeitet, positioniert werden, können die digitalen Ausgangsgrößen der Weg-Zeit-Kurvenberechnung vorteilhaft weiterverarbeitet werden.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die Dämpfung der Tastkopfbewegung, die sich aufgrund der berechneten Weg-Zeit-Kurven gegenüber der Werkstückkontur einstellt, durch das Verhältnis von Scan-Takt zu Reglertakt beeinflusst wird, läßt sich auf einfache Weise die optimale Dämpfung für das jeweilige Meßgerät einstellen.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung jede Weg-Zeit-Kurve durch zweimalige Integration einer als konstant vorgegebenen Maximalbeschleunigung berechnet wird, wobei die Maximalbeschleunigung einmal ihr Vorzeichen wechselt, damit die Geschwindigkeit der Scan-Achse gerade null wird, wenn der Tastkopf die am Anfang des Scan-Taktes gemessene Tastelementposition erreicht, die das Ende der jeweiligen Weg-Zeit-Kurve darstellt, folgt der Tastkopf der unbekannten Werkstückkontur auf einer geglätteten Kurve, wodurch Schwingungen vermieden werden.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung auf jeder berechneten Weg-Zeit-Kurve der Scan-Achse in engen zeitlichen Abständen Kurvenpunkte bestimmt werden, steht die Weg-Zeit-Kurve wie eine Sollkontur in digitaler Form zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die Kurvenpunkte als Soll-Positionen dem Lageregler der betreffenden motorischen Koordinatenachse des Meßgerätes zugeführt werden, erfolgt insgesamt das Regeln der Position des Tastkopfes unabhängig von der momentanen Auslenkung des Tastelementes.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung die engen zeitlichen Abstände der Kurvenpunkte so festgelegt werden, daß sie dem Reglertakt der Lageregler entsprechen, können die Kurvenpunkte ohne Interpolation direkt vom Lageregler übernommen werden.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung beim Vertauschen von Scan-Achse und Leitachse die aktuelle Geschwindigkeit der bisherigen Scan-Achse mit der Maximalbeschleunigung auf die Sollgeschwindigkeit der Leitachse gebracht wird, kann das Vertauschen der Achsen erfolgen, ohne eine Reduzierung der Verfahrensgeschwindigkeit des Tastkopfes vornehmen zu müssen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Koordinatenmeßgerätes als ein Beispiel eines Meßgerätes, bei dem das Verfahren und die Vorrichtung nach der Erfindung einsatzbar sind,

Fig. 2 und 3 Erläuterungsbilder für die Bewegung des Tastelementes eines Tastkopfes an einer Kante bzw. in einer

Ecke,

Fig. 4 ein Blockschaltbild zur Erläuterung des Verfahrens nach der Erfindung und

Fig. 5 ein Diagramm zur Erläuterung der vorzugsweise angewendeten Berechnung von Weg-Zeit-Kurven.

Fig. 1 zeigt ein insgesamt mit 10 bezeichnetes Koordinatenmeßgerät mit einem Meßtisch 12 und einem Tastkopf 14. Ein Werkstück, dessen unbekannte Kontur erfaßt werden soll, ist in Fig. 1 nicht dargestellt. Die Fig. 2 und 3 zeigen zu Erläuterungszwecken jeweils ein Werkstück 16, worauf weiter unten noch näher eingegangen wird. Der Tastkopf 14 ist in den drei Koordinatenrichtungen X, Y, Z durch eine insgesamt mit 18 bezeichnete Mechanik beweglich. Die Mechanik besteht aus einer bekannten Kreuzschlittenanordnung, die in Fig. 1 hinter Faltenbalgen 20, 21, 22 verborgen ist. Der Mechanismus 18 ist ein Ständer 24 mit einem Gegenhalter 26 zugeordnet. Der Meßtisch 12 trägt einen Drehtisch 28. Zwischen einer an dem Gegenhalter drehbar gelagerten Spitze (nicht sichtbar) und einer Spitze 30 des Drehtisches 28 kann ein Werkstück aufgenommen werden. Das Werkstück könnte aber auch nur auf dem Drehtisch 28 befestigt werden. Außerdem kann der Drehtisch auch dazu benutzt werden, die Bewegung des Tastkopfes in der Koordinatenrichtung X oder Y zu simulieren, so daß der Tastkopf lediglich in den Koordinatenrichtungen Z und Y bzw. X zu bewegen wäre. An dem Tastkopf 14 ist ein Tastelement 34 beweglich befestigt. Das Tastelement kann ein Taststift sein, der am vorderen Ende eine Tastkugel 36 trägt, wie es in den Fig. 2 und 3 gezeigt ist. Der Tastkopf 14 ist ein messender Tastkopf, der über nicht gezeigte Sensoren die Auslenkung des Tastelements 34 mißt, im Gegensatz zu einem schaltenden Tastkopf, der bei Berührung mit einem Werkstück einen Schaltvorgang auslöst, durch den beispielsweise der Tastkopf zurückgefahren wird. Dem Koordinatenmeßgerät 10 sind zwei symbolisch angedeutete Rechner 38 und 40 zugeordnet. Der Rechner 38 dient zur Steuerung der Mechanik 18 und des Drehtisches 28. Der Rechner 40 wird zur Dateneingabe, Meßwertermittlung und -auswertung eingesetzt. Den Rechnern 38, 40 sind eine übliche Tastatur und ein Anzeigebildschirm zugeordnet, worauf hier nicht näher eingegangen zu werden braucht.

Mit dem messenden Tastkopf 14 wird auf dem Koordinatenmeßgerät 10 eine unbekannte Werkstückkontur durch Scannen in einer beliebig vorgebbaren Scan-Ebene erfaßt. Zu diesem Zweck wird das an dem Tastkopf befindliche auslenkbare Tastelement 34 in der Scan-Ebene durch entsprechende Steuerung der Mechanik 18 so geführt, daß das Tastelement 34 in ständigem Kontakt mit der Werkstückkontur bleibt. Dazu wird der Tastkopf 14 in einer Parallelebene zur Scan-Ebene mittels einer Leitachse und einer Scan-Achse verfahren, die vorzugsweise rechtwinkelig zueinander sind und je nach aktuellem Verlauf der Werkstückkontur in dieser Funktion vertauschbar sind. Im folgenden ist das noch näher beschrieben. Während des Verfahrens des Tastkopfes 14 werden Meßwerte der unbekannten Werkstückkontur aufgenommen. Der Meßablauf wird hierbei durch den Rechner 38 gesteuert. Die Mechanik weist nicht dargestellte Antriebe auf, die den Tastkopf 14 in den genannten Richtungen verfahren. Jeder Antriebsachse oder motorischen Koordinatenachse X, Y, Z sind Wegaufnehmer (z. B. in Form von Glasmaßstäben der Firma Heidenhain) zugeordnet, an denen die genaue Position des Tastkopfes 14 abgelesen wird. Die Auslenkungen des Tastelements 34 gegenüber dem Tastkopf 14 sowie die an den Maßstäben erfaßten Positionen des Tastkopfes werden an den Rechner 40 zur Meßwertermittlung und -auswertung übertragen. Der Rechner 40 ist mit dem Rechner 38 verbunden, der den Meßablauf steuert.

Das Koordinatenmeßgerät 10 ist lediglich ein Beispiel zur

Ausführung des erfindungsgemäßen Scan-Verfahrens. Statt des Koordinatenmeßgerätes kann auch ein Digitalisiergerät oder eine Kopiervorrichtung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeiten.

An dem Scan-Vorgang, wie er bei dem Verfahren und der Vorrichtung nach der Erfindung ausgeführt wird, sind minimal zwei Achsen beteiligt, die sogenannte Leitachse und die sogenannte Scan-Achse. Dabei kann es sich beispielsweise um die beiden motorischen Koordinatenachsen X und Y handeln. Die Leitachse verfährt vorzugsweise mit konstanter Geschwindigkeit. Das ist die Achse, welche abhängig von der Kontur den größeren Weg zurücklegen muß. Die Scan-Achse wird währenddessen so verfahren, daß die Tasterauslenkung in Scan-Richtung jederzeit einer gewünschten Sollauslenkung möglichst nahe kommt. Die Zuordnung, welche Achse Leit- und welche Scan-Achse ist, wird in jedem Scan-Takt neu bestimmt, was im folgenden noch ausführlicher beschrieben ist. Beispielsweise ist es erforderlich, an Kanten (Fig. 2) oder Innenecken (Fig. 3) oder allgemein bei Richtungsänderungen (Ecken, Rundungen), die einen bestimmten Grenzwert übersteigen, zwischen Leitachse und Scan-Achse umzuschalten.

Anhand von Fig. 5 sei das erfindungsgemäße Verfahren kurz vorgestellt, welches dann anschließend unter Bezugnahme auf die Fig. 4 und 5 ausführlich beschrieben wird. Beim Scannen folgt das Tastelement 34 der zu erfassenden unbekannten Werkstückkontur unmittelbar, d. h. der in Fig. 5 mit M bezeichneten Kurve. Der Tastkopf 14 folgt nicht dem genauen Konturverlauf M, sondern aneinander gereihten Weg-Zeit-Kurven  $s(t)$ , die gemeinsam eine in Fig. 5 dargestellte Kurve  $S = s(t)$  bilden. Erfindungsgemäß ergibt sich aus der Auslenkung des Tastelements plus der Position der Scan-Achse des Tastkopfes 14 die absolute Tastelementposition in dem Koordinatensystem des Meßgerätes 10, auf die anschließend der Tastkopf gefahren werden soll, um die Auslenkung des Tastelements 34 in einem vorbestimmten Bereich zu halten. Die Kurve M ist die unbekannte Kontur, welcher der Tastkopf 14 in möglichst engem Abstand folgen soll. Das Tastelement 34 folgt der Werkstückkontur und seine gemessene absolute Position entspricht somit der unbekannten Kontur.

Allgemein bezeichnet in Fig. 5 "A" die Kurve für die Beschleunigung  $a(t)$ , V die Kurve für die Geschwindigkeit  $v(t)$  und S die Kurve  $s(t)$  für den Weg oder die Position in Abhängigkeit von der Zeit für die motorischen Koordinatenachsen, wogegen die mit "M" bezeichnete Kurve, wie gesagt, die unbekannte Kontur wiedergibt. Dargestellt sind in Fig. 5 die letzten vier Scan-Takte der Bewegung einer Scan-Achse vor der Umschaltung zur Leitachse. Dabei sind die Positionen  $s_0$  bis  $s_3$  die von einem im folgenden noch näher erläuterten Scan-Algorithmus berechneten Sollwerte. Die Punkte auf der Kurve  $S = s(t)$  zeigen den Weg der Scan-Achse in Abhängigkeit von der Zeit t. Jeder Punkt auf der Kurve  $S = s(t)$  kann als ein berechneter Sollwert für den Lageregler der Scan-Achse betrachtet werden.

Fig. 4 zeigt den Tastkopf 14, der mit dem Tastelement 34 die unbekannte Kontur eines Werkstückes 16 abtastet. Die Auslenkung des Tastelements wird auf oben kurz beschriebene Weise bestimmt und in einen als Block 42 dargestellten Scan-Algorithmus übertragen, der mit einem Taktgeber 43 einen Scan-Takt als ein sich wiederholendes Zeitintervall festlegt und zusammen mit einem Block 44 die Berechnung der Weg-Zeit-Kurven für die Leit- und die Scan-Achse vornimmt. Der Scan-Algorithmus und das Programm zur Berechnung der Weg-Zeit-Kurven befinden sich in dem Steuerungsrechner 38 des Meßgerätes 10. Fig. 5 zeigt vier Scan-Takte oder -Intervalle  $t_0-t_1$ ,  $t_1-t_2$ ,  $t_2-t_3$  und  $t_3-t_4$ . Die Kurve  $S = s(t)$  setzt sich aus einzelnen Weg-Zeit-Kurven zu-

sammen, die sich jeweils über einen der vorgenannten Scan-Takte oder -Intervalle erstrecken. Der niederfrequente Scan-Takt kann beispielsweise aus sich wiederholenden Scan- oder Zeitintervallen von jeweils 50 ms bestehen.

Aus Fig. 4 geht weiter hervor, daß für jede Antriebsachse oder motorische Koordinatenachse X, Y, Z des Meßgerätes 10 und somit für die Scan- und die Leitachse ein hochfrequent arbeitender Lageregler 46 vorgesehen ist. Mit "hochfrequent" ist gemeint, daß dieser Regler in Zeitintervallen regelt, die wesentlich kürzer sind als der Scan-Takt und beispielsweise 1 ms betragen können. Für die Festlegung der Zeitintervalle, in denen der Regler regelt, dient ein Taktgeber 47. Die einzelnen Stützpunkte, auf die der Lageregler 46 regelt, sind auf der Kurve  $S = s(t)$  in Fig. 5 als helle Punkte angedeutet. Die Ist-Position des Tastkopfes 14 wird durch einen Meßwertgeber 48 erfaßt und dem Lageregler 46 sowie dem Scan-Algorithmus 42 übermittelt. Der Lageregler 46 ermittelt auf übliche Weise aus einem vorgegebenen Sollwert und dem Ist-Wert ein Stellsignal 50, mit dem der Antrieb der betreffenden motorischen Koordinatenachse 52 angesteuert wird, um den Tastkopf 14 in die Sollposition zu bringen. Jeder motorischen Koordinatenachse 52 ist einer der Meßwertgeber 48 zugeordnet, bei denen es sich um Glasmaßstäbe der oben genannten Art handeln kann. Mit den Meßwertgebern 48 werden die Positionen der motorischen Koordinatenachsen 52, d. h. die Position des Tastkopfes 14 bestimmt. Entsprechende Meßwertgeber 53 sind in dem Tastkopf 14 zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements 34 vorgesehen. Die ermittelte Tastelementauslenkung 54 wird von dem Tastkopf 14 in den Scan-Algorithmus 42 übertragen, um sie dort mit der gemessenen Ist-Position 49 des Tastkopfes 14 zur absoluten Tastelementposition im Koordinatensystem des Meßgerätes 10 zu addieren.

Das erfindungsgemäße Scan-Verfahren wird nun unter Bezugnahme auf Fig. 5 mehr ins einzelne gehend beschrieben. Bevor das auslenkbare Tastelement 34 in der Scan-Ebene so geführt wird, daß es in ständigem Kontakt mit der Werkstückkontur bleibt, wird nicht nur der Scan-Takt als ein sich wiederholendes Zeitintervall  $t_0-t_1$ ,  $t_1-t_2$ , usw. für den Taktgeber 43 festgelegt, sondern es werden auch eine meßgerätbedingte Maximalbeschleunigung  $a_{\max}$  und eine meßgerätbedingte Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$  für die Leitachse und die Scan-Achse bestimmt, die in den Rechner 40 eingegeben und abrufbar gespeichert werden. Beide Maximalwerte sind in Fig. 5 eingetragen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Scannen, das in dem hier beschriebenen Beispiel auf dem Koordinatenmeßgerät 10 ausgeführt wird, indem das am Tastkopf 14 befindliche, auslenkbare Tastelement 34 in der Scanebene so geführt wird, daß das Tastelement in ständigem Kontakt mit der Werkstückkontur bleibt, und indem der Tastkopf 14 in einer Parallelebene zur Scan-Ebene auf oben beschriebene Weise gefahren wird und damit Meßwerte der unbekannten Werkstückkontur aufgenommen werden, beinhaltet erfindungsgemäß folgende Detailschritte:

Vor dem Führen des am Tastkopf 14 befindlichen Tastelements 34 in der Scan-Ebene wird einmalig vorgegeben

- ein Scan-Takt, den der Taktgeber 43 als ein sich wiederholendes Zeitintervall erzeugt, und
- eine meßgerätbedingte Maximalbeschleunigung  $a_{\max}$  und eine meßgerätbedingte Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$  für die Leitachse und die Scan-Achse; danach werden in jedem Scan-Takt folgende Schritte ausgeführt:

- a1) Messen der absoluten Tastelementposition mittels  $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  usw. im Koordinatensystem des Meßgerätes 10, die sich aus der jeweiligen mo-

mentanen Ist-Position 49 des Tastkopfes 14 am Anfang des Scan-Taktes und der im selben Moment vorliegenden Tastelementauslenkung 54 zusammensetzt,

a2) Berechnen einer Weg-Zeit-Kurve für die Scan-Achse, deren Verlauf eine mathematische Funktion von folgenden, in dem Scan-Algorithmus 42 gesammelten Parametern ist: der gemessenen absoluten Tastelementposition  $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  usw.,

einer auf der Weg-Zeit-Kurve am Ende des vorangegangenen Scan-Taktes festgestellten Position des Tastkopfes 14 sowie seiner zugehörigen Geschwindigkeit, der vorgegebenen Maximalbeschleunigung  $a_{\max}$  sowie

der vorgegebenen Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$ , a3) Fahren des Tastkopfes 14 mittels der Leitachse mit einer Geschwindigkeit, die kleiner ist als die Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$ , und mittels der Scan-Achse entlang der für den vorliegenden Scan-Takt mit Hilfe des Rechners 38 neu berechneten Weg-Zeit-Kurve; und

b1) Erfassen der gesuchten Werkstückkontur anhand der gemessenen absoluten Tastelementpositionen mit Hilfe des Rechners 40.

Die praktische Realisierung des vorstehend allgemein dargestellten erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun anhand des Ausführungsbeispiels nach den Fig. 4 und 5 im einzelnen beschrieben.

Fig. 5 zeigt am Beispiel von vier Zeitintervallen die Bewegung der Scan-Achse in Abhängigkeit von der Zeit  $t$ . Zur einfacheren Darstellung beginnt das erste Zeitintervall  $t_0$   $t_1$  im Zeitpunkt  $t_0$  mit  $s = 0$  und  $v = 0$ , und der Sollwert für die Tastelementauslenkung soll über den gesamten Scan-Verlauf null betragen. Der Scan-Algorithmus 42 addiert im Zeitpunkt  $t_0$  die gemessene Tastkopfposition 49 und die gemessene Tastelementauslenkung 54 zur absoluten Tastelementposition  $s_0$ , die sich auf der Kurve M befindet.

Generell ist es das Ziel, den Tastkopf 14 mittels der Scan-Achse auf die gemessene absolute Tastelementposition zu verfahren, dann würde die Tastelementauslenkung 54 auch gerade dem gewünschten Sollwert 0 entsprechen. Also ist diese gemessene absolute Tastelementposition  $s_0$  die im Zeitintervall  $t_0$ - $t_1$  anzustrebende Sollposition für den Tastkopf 14. Sie wird, vom Scan-Algorithmus 42 ermittelt und als Eingangsgröße an die Einrichtung 44 zur Berechnung von Weg-Zeit-Kurven übertragen.

Diese Einrichtung 44 berechnet für das Zeitintervall  $t_0$ - $t_1$  eine Weg-Zeit-Kurve, in diesem Beispiel durch zweimalige Integration der als konstant vorgegebenen Maximalbeschleunigung  $a_{\max}$ . Wie die Kurve  $A = f(t)$  in Fig. 5 zeigt, wird der Tastkopf 14 von der Scan-Achse zunächst mit  $a_{\max}$  beschleunigt und anschließend mit  $a_{\max}$  gebremst, was bedeutet, daß die darunter dargestellte Geschwindigkeitskurve  $V = f(t)$  zunächst linear ansteigt und anschließend linear abfällt und die zugehörige Weg-Zeit-Kurve  $S = f(t)$  immer S-förmig verläuft, weil der Tastkopf 14 seine Sollposition  $s_0$  möglichst schnell erreichen, aber seine Bewegung mit der Geschwindigkeit  $v = 0$  beenden soll.

Aufgrund der berechneten ersten Weg-Zeit-Kurve würde die Scan-Achse die Sollposition  $s_0$  im Zeitpunkt  $t_{11}$  erreichen, wie Fig. 5 jedoch zeigt, endet das aktuelle Zeitintervall  $t_0$ - $t_1$  bereits im Zeitpunkt  $t_1$ . In diesem Moment werden automatisch eine neue Tastkopf-Sollposition und eine neue Weg-Zeit-Kurve für das zweite Zeitintervall  $t_1$ - $t_2$  bestimmt. Dazu ermittelt der Scan-Algorithmus 42, in gleicher

Weise wie zuvor, die gemessene absolute Tastelementposition  $s_1$ , und die Einrichtung 44 berechnet erneut eine Weg-Zeit-Kurve durch zweimalige Integration von  $a_{\max}$ . Neben  $a_{\max}$  fließt als Parameter auch diejenige momentane Position und momentane Geschwindigkeit mit ein, die die Scan-Achse auf der Kurve S bzw. V am Ende des ersten Zeitintervalls erreicht hat. Dadurch schließt die zweite Weg-Zeit-Kurve im Zeitpunkt  $t_1$  tangential an die erste Weg-Zeit-Kurve an, die Bewegung der Scan-Achse ist also ruckfrei und würde im Zeitpunkt  $t_{21}$  in Position  $s_1$  mit der Geschwindigkeit  $v = 0$  enden.

Aber auch im Zeitintervall  $t_1$ - $t_2$  erreicht die Scan-Achse die Sollposition  $s_1$  nicht, weil sich im Zeitpunkt  $t_2$  die dritte Weg-Zeit-Kurve anschließt. Im Zeitpunkt  $t_2$  ermittelt der Scan-Algorithmus 42 wiederum die gemessene absolute Tastelementposition  $s_2$ , die in diesem Zeitpunkt zufällig gleich der gemessenen Tastkopfposition 49 ist, die Tastelementauslenkung 54 ist also idalerweise 0, aber die momentane Geschwindigkeit ist ungleich 0. Deshalb wird eine Weg-Zeit-Kurve berechnet, welche durch zweimalige Integration von  $a_{\max}$  den Tastkopf 14 zunächst abbremst, um dann im Zeitpunkt  $t_{31}$  weich in diesen Punkt zurückzukehren.

Auch die Sollposition  $s_2$  ist im Zeitpunkt  $t_3$  nicht erreicht und nach gleichem Schema schließt sich die vierte Weg-Zeit-Kurve an, welche im Zeitpunkt  $t_{41}$  enden würde.

Im Zeitpunkt  $t_4$  stellt der Scan-Algorithmus 42 anhand des Verhältnisses der zuletzt zurück gelegten Teilstücke von Scan- und Leitachse fest, daß diese beiden Achsen vertauscht werden müssen. Die bisher ausführlich beschriebene Scan-Achse wird nun zur Leitachse, was die zwei auseinanderstrebenden Äste der Weg-Zeit-Kurven in Fig. 5 deutlich zeigen. Der untere Kurvenast zeigt den in  $t_4$  verworfenen Verlauf der vorangegangenen Weg-Zeit-Kurve, der nach oben verlaufende Kurvenast zeigt die neue Weg-Zeit-Kurve hin zu einer konstanten Geschwindigkeit für die Funktion als Leitachse, beispielsweise  $v_{\max}$ . Die bisherige Leitachse hingegen verfährt seit dem Zeitpunkt  $t_4$  bereits als Scan-Achse auf einer in Fig. 5 nicht dargestellten Weg-Zeit-Kurve, die mit ihrer bisherigen Geschwindigkeit als Anfangsparameter berechnet wurde. Daraus ergibt sich, daß das Vertauschen von Leitachse und Scan-Achse ruckfrei und ohne Geschwindigkeitseinbußen erfolgt.

Wie Fig. 5 weiter zeigt, folgt die Kurve S, die sich aus den einzelnen Weg-Zeit-Kurven  $s(t)$  der Scan-Achse zusammensetzt, der rauen Werkstückkontur mit einer gewissen Dämpfung, wodurch die im Stand der Technik vorhandene Schwingungsanfälligkeit des geregelten Scannens beseitigt wird, was sich folgendermaßen erklären läßt:

Die absoluten Tastelementpositionen  $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  usw. werden nur einmal pro Scan-Takt erfaßt, also z. B. alle 50 ms. Hingegen werden die einzelnen Stützpunkte auf der Kurve S wesentlich häufiger bestimmt und von der Scan-Achse ausgegletet, beispielsweise alle 1 ms. Das heißt, der Tastkopf 14 fährt aufgrund des hochfrequenten Reglertaktes zwar nicht absolut genau, aber immer sehr nahe entlang einer glatten, durch Integration berechneten Kurve. Deren Verlauf wird in vergleichsweise großen Zeitintervallen an die tatsächliche Werkstückkontur angepaßt, ohne dadurch Sprünge oder andere Störungen in die Kurve zu bekommen. Würde man den Scan-Takt bis nahe an den Reglertakt erhöhen, wären die zum Fahren des Tastkopfes verwendeten Abschnitte der Weg-Zeit-Kurven sehr kurz, mit nur wenigen Stützpunkten belegt und würden ständig an die reale Werkstückkontur angepaßt. In diesem Fall träte keine Dämpfung ein, und das System wäre schwingungsanfällig. Würde man umgekehrt die Zeitintervalle des Scan-Taktes viel länger machen, ließe sich das Tastelement nicht innerhalb seines



Auslenkbereiches mit dem Werkstück in Kontakt halten, sondern würde abheben oder aufsetzen. Dieses Beispiel zeigt, daß es zwischen den beiden Extremen einen Bereich gibt, in dem sich das Dämpfungsverhalten durch das Verhältnis von Scan-Takt zu Reglertakt beeinflussen läßt. Dabei haben natürlich die vorgegebenen Werte für die Maximalbeschleunigung und Maximalgeschwindigkeit auch noch einen wesentlichen Einfluß.

Ein weiterer Aspekt, um die Schwingungsanfälligkeit zu vermeiden, besteht darin, daß statt der relativen Auslenkung des Tastelementes 34 gegenüber dem Tastkopf 14 erfindungsgemäß die absolute Tastelementposition  $s_0$ ,  $s_1$ ,  $s_2$  usw. im Koordinatensystem des Meßgerätes 10 für die Berechnung der Weg-Zeit-Kurven vorgesehen ist. Während des Regelvorgangs der Scan-Achse auf einen Stützpunkt der Kurve  $S$  kann sich nämlich die Auslenkung ändern, beispielsweise beim Überschwingen des Tastkopfes 14, ohne daß sich das Tastelement 34 gegenüber der Werkstückkontur verschiebt. Das heißt, die Summe aus gemessener Tastkopfposition und gemessener Tastelementauslenkung bleibt gleich, auch wenn sich der Tastkopf 14 etwas bewegt. Da somit die momentane Auslenkung des Tastelements 34 nicht in den Regelvorgang eingeht, den der Lageregler 46 beim Fahren des Tastkopfes 14 ausführt, ist die direkte Auswirkung der Auslenkung auf die Position des Tastkopfes und damit dessen Schwingungsanfälligkeit beseitigt. Voraussetzung dafür ist, daß auf den im Scan-Takt berechneten Weg-Zeit-Kurven  $s(t)$  in engen zeitlichen Abständen Kurvenpunkte bestimmt werden, also in zeitlichen Abständen, die wesentlich kleiner sind als jedes Zeitintervall des Scan-Taktes. Diese Kurvenpunkte werden dem Lageregler 46 der betreffenden motorischen Koordinatenachse (Scan- bzw. Leitachse) des Meßgerätes 10 zugeführt. Die engen zeitlichen Abstände der Kurvenpunkte werden dabei so festgelegt, daß sie dem Reglertakt der Lageregler 46 entsprechen. Es wird dabei zwar stillschweigend von der Verwendung eines taktweise arbeitenden digitalen Reglers ausgegangen, es ist jedoch ohne weiteres vorstellbar, analoge Lageregler einzusetzen, die nicht taktweise arbeiten.

Als Leit- und Scan-Achse können zwei der drei motorischen Koordinatenachsen  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  oder die Drehachse des Drehtisches 28 (wenn eine der rechtwinkligen Koordinatenachsen simuliert werden soll) gewählt werden. Wenn die Scan-Ebene nicht parallel zu einer Ebene der motorischen Koordinatenachsen  $X$ - $Y$ ,  $X$ - $Z$  oder  $Y$ - $Z$  liegt, dann sind Scan-Achse oder Leitachse oder beide virtuell, wobei die Bewegung jeder virtuellen Achse durch vektorielle Addition der Bewegungen von zwei oder drei motorischen Koordinatenachsen realisiert wird.

Fig. 5 zeigt auch, daß die Maximalgeschwindigkeit  $v_{\max}$  nur dort erreicht wird, wo die Scan-Achse zur Leitachse wird. Ansonsten ist die Geschwindigkeit  $v$  oder Scan-Achse, die durch den Einsatz der maximalen Beschleunigung  $a_{\max}$  erreicht wird, immer kleiner als die maximale Geschwindigkeit  $v_{\max}$ . Der weiche Übergang von der Scan-Achsenbewegung in die Leitachsenbewegung im Zeitpunkt  $t_4$  macht es möglich, daß erfindungsgemäß mit voller Scan-Geschwindigkeit das Tastelement um eine Ecke gefahren werden kann. Die Übergänge zwischen den einzelnen Scan-Takten (bei  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ) von einer Weg-Zeit-Kurve auf die nächste Weg-Zeit-Kurve machen deutlich, daß es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren unnötig ist, den Scan-Vorgang anzuhalten oder abzubremesen, wie es im eingangs geschilderten Stand der Technik der Fall ist. Es brauchen keine Solldaten extrapoliert zu werden, und es brauchen auch keine Meßdaten gefiltert zu werden, wie es die DE 197 30 471 A1 für die Phase des Übergangs von geregelterm Scannen auf gesteuertes Scannen vorschlägt (vgl.

Sp. 3, Z. 9-19). Erreicht wird das erfindungsgemäß auf einfache Weise durch das Vorgeben einer maximalen Beschleunigung, die so eingesetzt wird, daß sich ein weicher Verlauf für die aneinander anschließenden Weg-Zeit-Kurven  $s(t)$  des Tastkopfes 14 ergibt, wofür ein Beispiel in Fig. 5 gezeigt ist. Weiter wird das hier dadurch erreicht, daß die Position des Tastelements 34 nicht in einem geschlossenen Regelkreis über den Tastkopf 14 geregelt wird. Die Ist-Position des Tastelements 34 wird erfindungsgemäß einfach über den Scan-Algorithmus 42 mit berücksichtigt, neben der Ist-Position des Tastkopfes 14, das aber nur jeweils nach einem Scan-Takt. Die geglättete Kurve  $S = s(t)$ , mit der somit die Tastkopf- und Tastelementbewegung folgt, macht die Überlegenheit des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber den im Stand der Technik bekannten Verfahren aus und bringt die oben geschilderten Vorteile mit sich, insbesondere den Glättungseffekt, durch den die Schwingungsanfälligkeit beseitigt wird, weil der Tastkopf 14 nach der geglätteten Kurve  $S = s(t)$  verfahren wird, mit sanften Übergängen zwischen den Scan-Takten oder Zeitintervallen, und daher ruckfrei und ohne Schwingungen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Scannen auf einem Meßgerät, insbesondere einem Koordinatenmeßgerät, das einen messenden Tastkopf und motorische Koordinatenachsen aufweist, zur Erfassung einer unbekannten Werkstückkontur in einer vorgebbaren Scan-Ebene durch folgende automatisch ablaufende Schritte:

- Führen eines am Tastkopf befindlichen auslenkbaren Tastelementes in der Scan-Ebene derart, daß das Tastelement in ständigem Kontakt mit der Werkstückkontur bleibt, durch Fahren des Tastkopfes in einer Parallelebene zur Scan-Ebene mittels einer Leitachse und einer Scan-Achse, die vorzugsweise rechtwinklig zueinander sind und in dieser Funktion gegeneinander austauschbar sind,
- Aufnehmen von Meßwerten der unbekannten Werkstückkontur in einem Koordinatensystem des Meßgerätes,

gekennzeichnet durch folgende Detailschritte:

Einmalige Vorgabe

- eines Scan-Taktes als ein sich wiederholendes Zeitintervall,
- einer meßgerätbedingten Maximalbeschleunigung für die Leitachse und die Scan-Achse,
- einer meßgerätbedingten Maximalgeschwindigkeit für die Leitachse und die Scan-Achse,

Ausführung in jedem Scan-Takt:

- Messen einer absoluten Tastelementposition im Koordinatensystem des Meßgerätes, die sich aus einer momentanen Ist-Position des Tastkopfes am Anfang des Scan-Taktes und der im selben Moment vorliegenden Tastelement-Auslenkung zusammensetzt,
- Berechnen einer Weg-Zeit-Kurve für die Scan-Achse, deren Verlauf eine mathematische Funktion von folgenden Parametern ist: der gemessenen absoluten Tastelementposition, einer auf der Weg-Zeit-Kurve am Ende des vorangegangenen Scan-Taktes festgestellten Position des Tastkopfes (14) sowie seiner zugehörigen Geschwindigkeit, der vorgegebenen Maximalbeschleunigung sowie der vorgegebenen Maximalgeschwindigkeit,
- Verfahren des Tastkopfes mittels der Leitachse in einer Geschwindigkeit, die kleiner ist als

die Maximalgeschwindigkeit, und mittels der Scan-Achse entlang der in dem vorliegenden Scan-Takt neu berechneten Weg-Zeit-Kurve, und  
b1) Erfassen der gesuchten Werkstückkontur anhand der gemessenen absoluten Tastelementposi- 5 tionen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei nicht in die Scan-Ebene fallenden Koordinatenachsen als Leitachse und als Scan-Achse virtuelle Achsen in der Scan-Ebene eingesetzt werden, die sich durch vektorielle Addition der Bewegungen der vorhandenen motorischen Koordinatenachsen des Meßgerätes verwirklichen lassen. 10

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die motorischen Koordinatenachsen des Meßgerätes jeweils mit einem digitalen Lageregler, der in einem festgelegten Reglertakt arbeitet, positioniert werden. 15

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Dämpfung der Bewegung des Tastkopfes, die sich aufgrund der berechneten Weg-Zeit-Kurven gegenüber der Werkstückkontur einstellt, durch das Verhältnis von Scan-Takt zu Reglertakt beeinflusst wird. 20

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß jede Weg-Zeit-Kurve durch zweimalige Integration einer als konstant vorgegebenen Maximalbeschleunigung berechnet wird, wobei die Maximalbeschleunigung einmal ihr Vorzeichen wechselt, damit die Geschwindigkeit der Scan-Achse gerade null wird, wenn der Tastkopf die am Anfang des Scan-Taktes gemessene Tastelementposition erreicht, die das Ende der jeweiligen Weg-Zeit-Kurve darstellt. 25

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß auf der berechneten Weg-Zeit-Kurve der Scan-Achse in engen zeitlichen Abständen Kurvenpunkte bestimmt werden. 30

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurvenpunkte als Soll-Positionen dem Lageregler der motorischen Koordinatenachse des Meßgerätes zugeführt werden. 35

8. Verfahren nach Anspruch 3 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß die engen zeitlichen Abstände der Kurvenpunkte so festgelegt werden, daß sie dem Reglertakt der Lageregler entsprechen. 40

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Austauschen von Scan-Achse und Leitachse die aktuelle Geschwindigkeit der bisherigen Scan-Achse mit der Maximalbeschleunigung auf die Sollgeschwindigkeit der Leitachse gebracht wird. 45

10. Vorrichtung zum Scannen auf einem Meßgerät, insbesondere einem Koordinatenmeßgerät (10), das einen messenden Tastkopf (14) aufweist, der mit motorischen Koordinatenachsen (X, Y, Z) verfahrbar ist und ein auslenkbares Tastelement (34) trägt, 50

- mit einer Einrichtung (38) zum Führen des auslenkbaren Tastelements (34) so, daß es in ständigem Kontakt mit der Werkstückkontur bleibt, durch

- Fahren des Tastkopfes (14) mittels einer Leitachse und einer Scan-Achse, die vorzugsweise rechtwinklig zueinander sind,

- mit einer Einrichtung (40) zum Aufnehmen von Meßwerten der unbekannten Werkstückkontur in einem Koordinatensystem des Meßgerätes, 60

gekennzeichnet durch

- eine Einrichtung (43) zum Festlegen eines

Scan-Taktes als eines sich wiederholenden Zeitintervalls,

- eine Einrichtung (40) zum Vorgeben einer meßgeräthedingten Maximalbeschleunigung ( $a_{max}$ ) und einer meßgeräthedingten Maximalgeschwindigkeit ( $v_{max}$ ) für die Leitachse und die Scan-Achse,

- eine Einrichtung (42) zum Messen einer absoluten Tastelementposition ( $s_0, s_1, s_2, s_3$ ) im Koordinatensystem des Meßgerätes (10), die sich aus einer momentanen Ist-Position (49) des Tastkopfes (14) am Anfang des Scan-Taktes und der im selben Moment vorliegenden Tastelementauslenkung (54) zusammensetzt,

- eine Einrichtung (44) zum Berechnen von Weg-Zeit-Kurven ( $s(t)$ ) für die Scan-Achse, deren jeweiliger Verlauf eine mathematische Funktion von folgenden, in einer vorgeschalteten Einrichtung (42) gesammelten Parametern ist: der gemessenen absoluten Tastelementposition ( $s_0, s_1, s_2, s_3$ ), einer auf der Weg-Zeit-Kurve am Ende des vorangegangenen Scan-Taktes festgestellten Position des Tastkopfes (14) sowie seiner zugehörigen Geschwindigkeit, der vorgegebenen Maximalbeschleunigung ( $a_{max}$ ) sowie der vorgegebenen Maximalgeschwindigkeit ( $v_{max}$ ),

- eine Einrichtung (38) zum Fahren des Tastkopfes (14) mittels der Leitachse mit einer Geschwindigkeit, die kleiner ist als die Maximalgeschwindigkeit ( $v_{max}$ ), und mittels der Scan-Achse entlang der für den vorliegenden Scan-Takt neu berechneten Weg-Zeit-Kurve, und

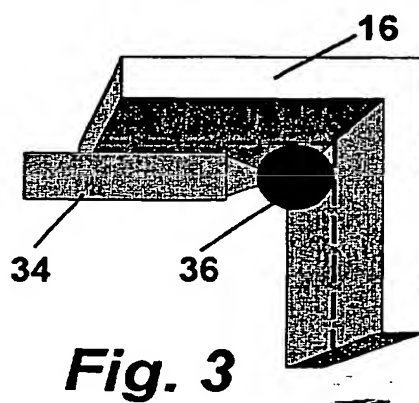
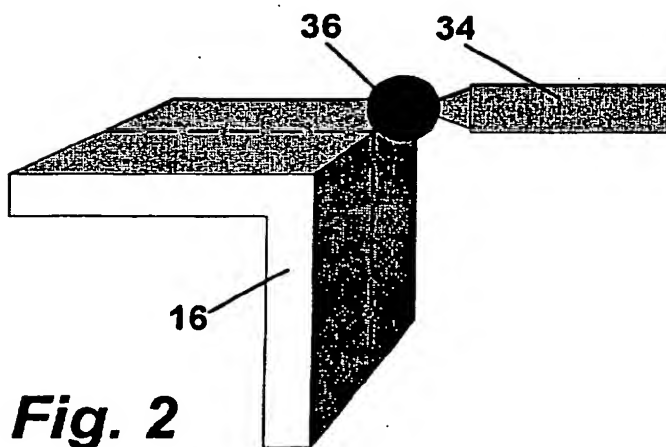
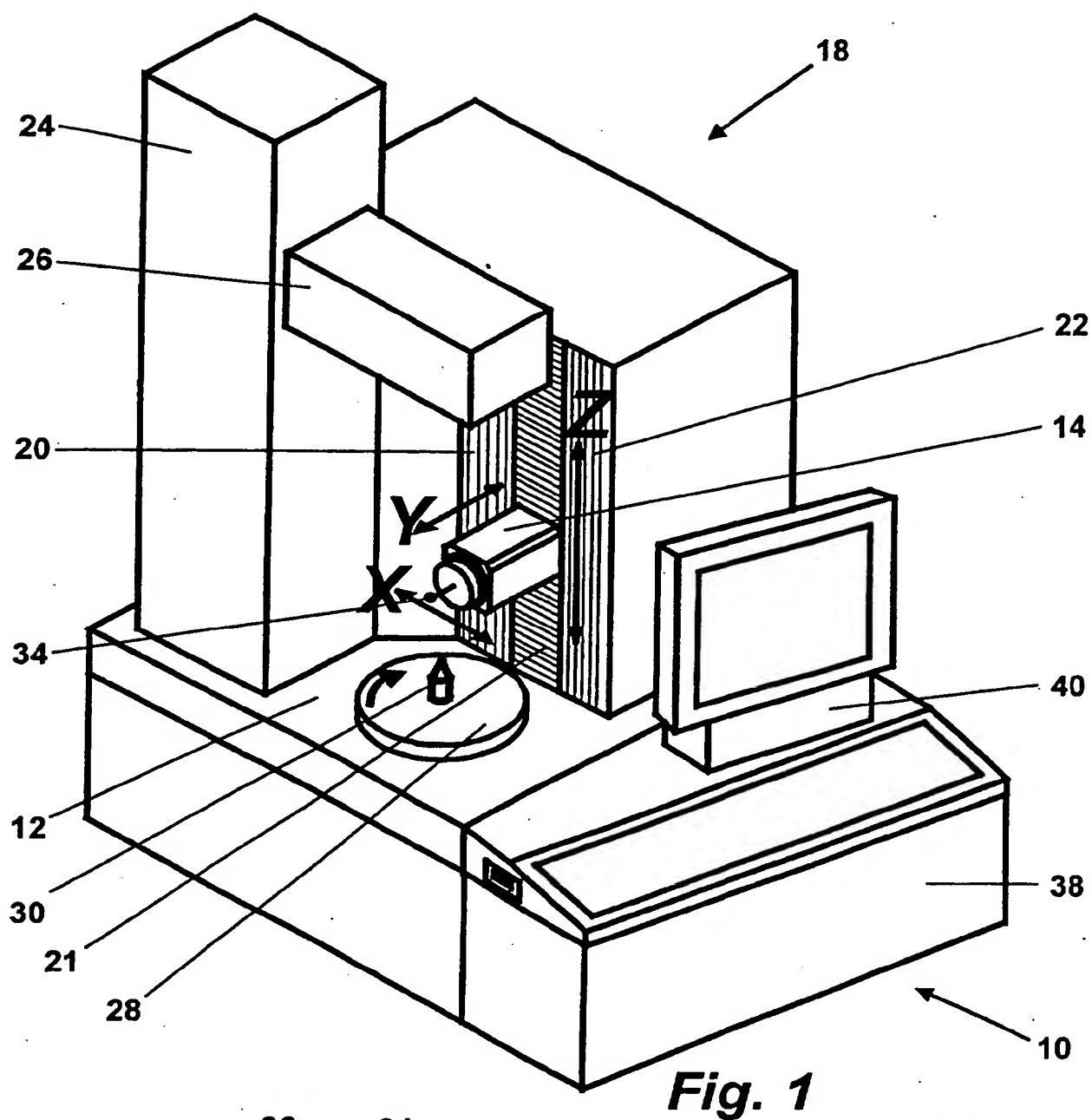
- eine Einrichtung (40) zum Erfassen der gesuchten Werkstückkontur anhand der gemessenen absoluten Tastelementpositionen ( $s_0, s_1, s_2, s_3$ ).

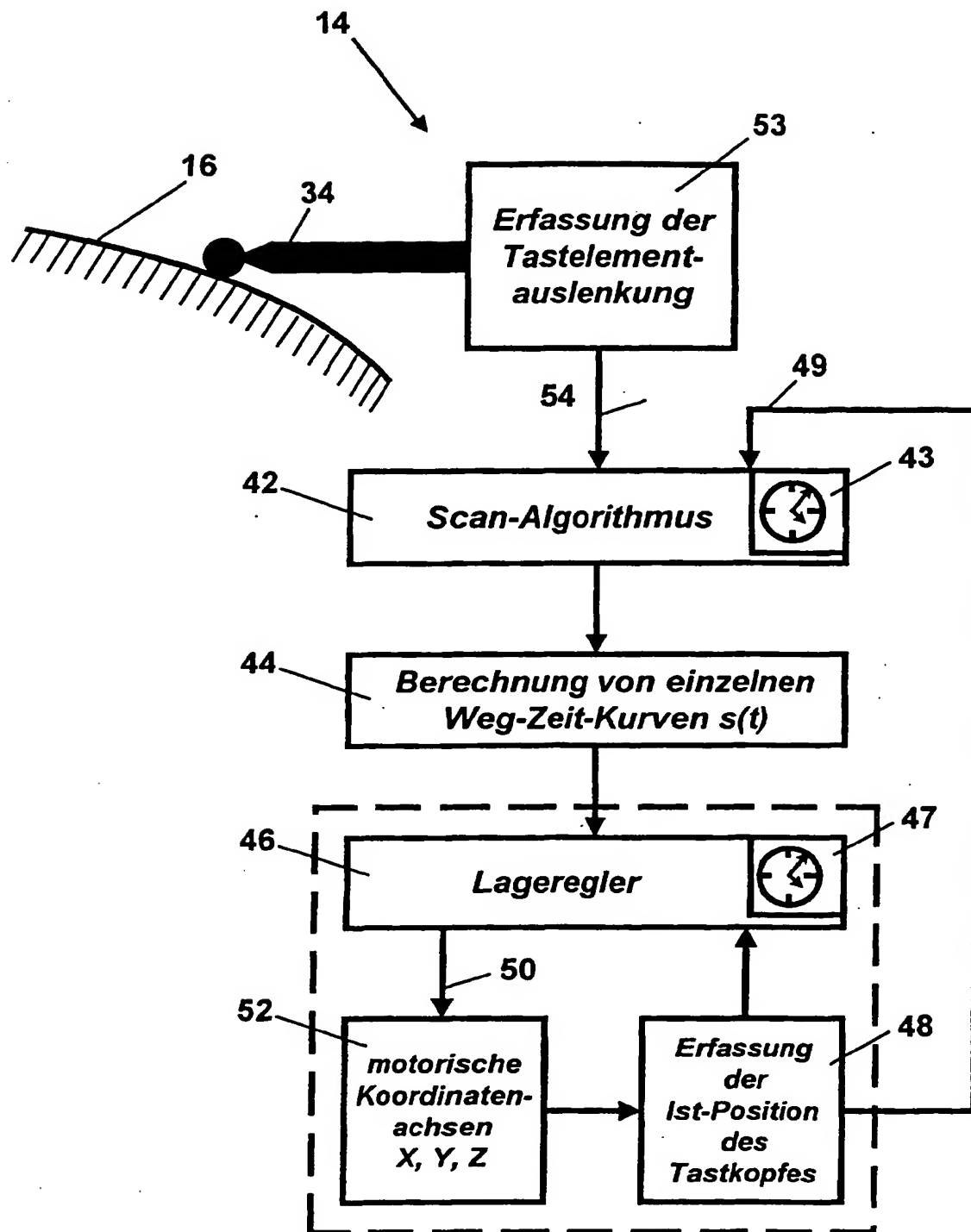
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgeschaltete Einrichtung (42) als Eingangssignale die Tastelementauslenkung (54) und die momentane Ist-Position (49) des Tastkopfes (14) empfängt und ausgangsseitig mit der Einrichtung (44) zum Berechnen von Weg-Zeit Kurven ( $s(t)$ ) für die Scan-Achse verbunden ist, welche mit Einrichtungen versehen ist, die bewirken, daß jede Weg-Zeit-Kurve durch zweimalige Integration der als konstant vorgegebenen Maximalbeschleunigung ( $a_{max}$ ) berechnet wird, wobei die Maximalbeschleunigung ( $a_{max}$ ) einmal ihr Vorzeichen wechselt, damit die Geschwindigkeit der Scan-Achse gerade null wird, wenn der Tastkopf (14) die am Anfang des Scan-Taktes gemessene absolute Tastelementposition ( $s_0, s_1, s_2, s_3$ ), die das Ende der jeweiligen Weg-Zeit-Kurve darstellt, erreicht. 55

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ausgang der Einrichtung (44) zum Berechnen von Weg-Zeit-Kurven ( $s(t)$ ) über den Sollpositionsvorgaben für die Leit- und die Scan-Achse abgegeben werden, mit einem Lageregler (46) jeder motorischen Koordinatenachse (X, Y, Z) verbunden ist, deren Ist-Positionen (49) mit einer Einrichtung (48) erfassbar sind und dem Lageregler (46) und der vorgeschalteten Einrichtung (42) übermittelbar sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen







**Fig. 4**

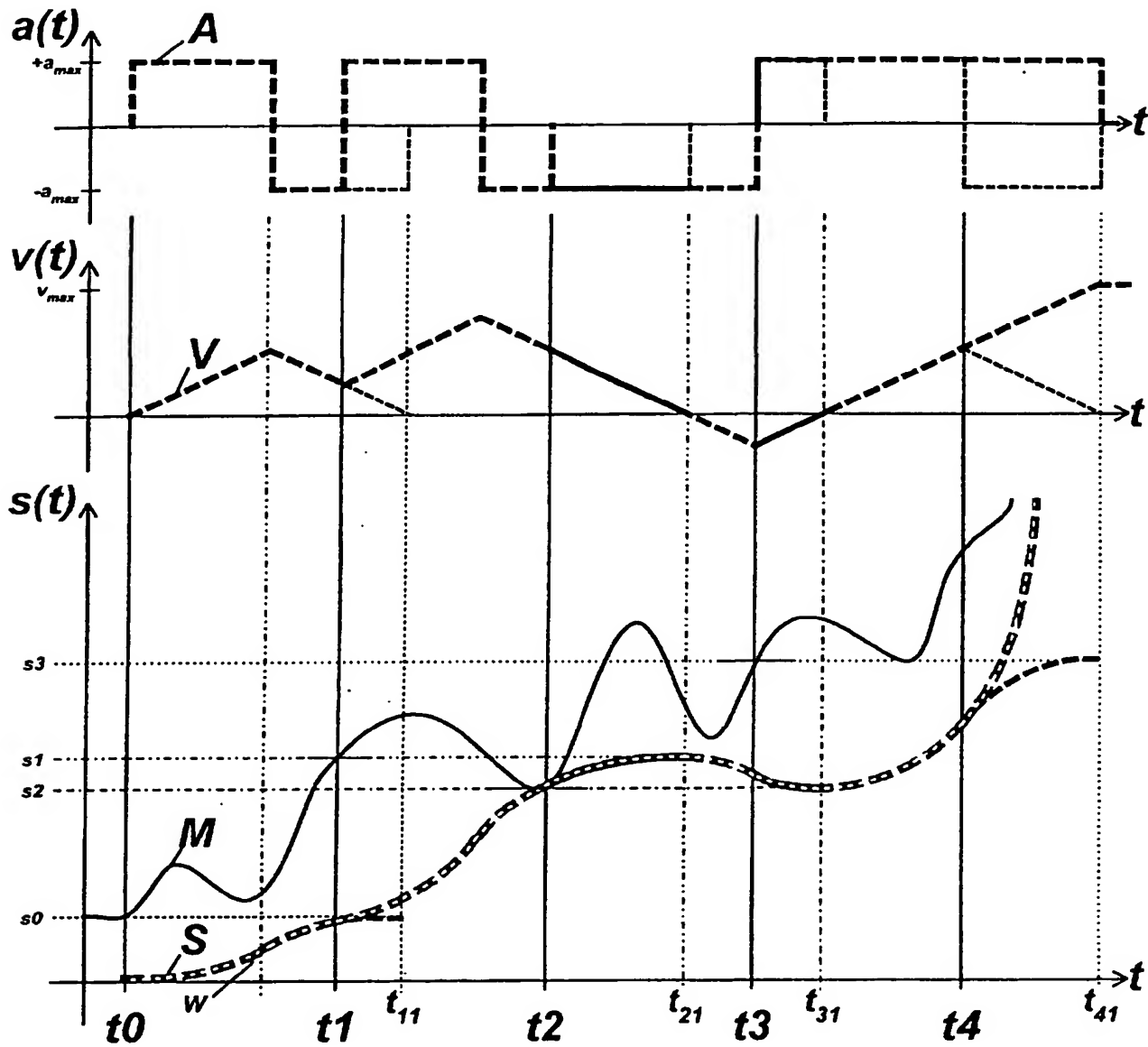


Fig. 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**  
As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.